

ВЛИЯНИЕ ПРОЗРАЧНОСТИ ВОДЫ НА ЛЕТНЮЮ ВЕРТИКАЛЬНУЮ СТРУКТУРУ ТЕМПЕРАТУРЫ ВОДЫ И РАСТВОРЕННОГО КИСЛОРОДА В МЕЛКОВОДНОМ БОРЕАЛЬНОМ ОЗЕРЕ

Гавриленко Г.Г., Голосов С.Г., Здорвеннов Р.Э.,
Здорвеннова Г.Э., Пальшин Н.И., Терзевик А.Ю.

Институт водных проблем Севера КарНЦ РАН,

Петрозаводск, Россия

E-mail: ark1948@list.ru

Воздействие парниковых газов (в первую очередь – углекислого газа и метана) на климат отдельных регионов и Земли в целом уже не первый год находится в поле зрения ученых и лиц, принимающих решения. Большую роль в продукции этих газов играют водоемы, в том числе и озера бореальной зоны. До недавнего времени оценка этой роли носила скорее качественный, чем количественный характер. Во многом это определялось отсутствием современного прецизионного оборудования и теоретических наработок, позволяющих проводить модельные расчеты, а также неполнотой списка тех процессов в озерах, которые определяют не только формирование самих газов, но и создают предпосылки для этого.

В настоящем докладе показано, как вертикальная структура температуры воды в мелководном озере может драматически изменить его кислородный режим и создать все необходимые условия для развития

восстановительных процессов в придонной области и, соответственно, продуцирования метана.

Большинство работ, посвященных термическому режиму мелководных озер, свидетельствуют, что стратификация в них обычно слабая, и поэтому озера часто перемешиваются до дна в летний период (рис. 1, а, б). Исключение составляют озера с низкой прозрачностью воды, которая определяет удержание большей части солнечной радиации в верхнем (1-2 м) слое и, как следствие, формирование «острого» термоклина. В первом случае вертикальная структура растворенного кислорода достаточно однородна, за исключением окрестностей дна, в течение летнего периода за счет периодического перемешивания до дна, во втором реаэрация водоема за счет перемешивания до дна исключена (рис. 1, в, г).

Органическое вещество, образовавшееся за время весеннего развития фитопланктона, скапливается в локальных углублениях за счет гравитационного оседания. Затраты растворенного кислорода при его бактериальном разложении достаточны, чтобы истощить его запас в локальных углублениях вплоть до нуля. При отсутствии реаэрации начинается развитие восстановительных процессов в заморной зоне, сопровождающееся продуцированием метана не только в донных отложениях, но в придонной части локальных углублений.

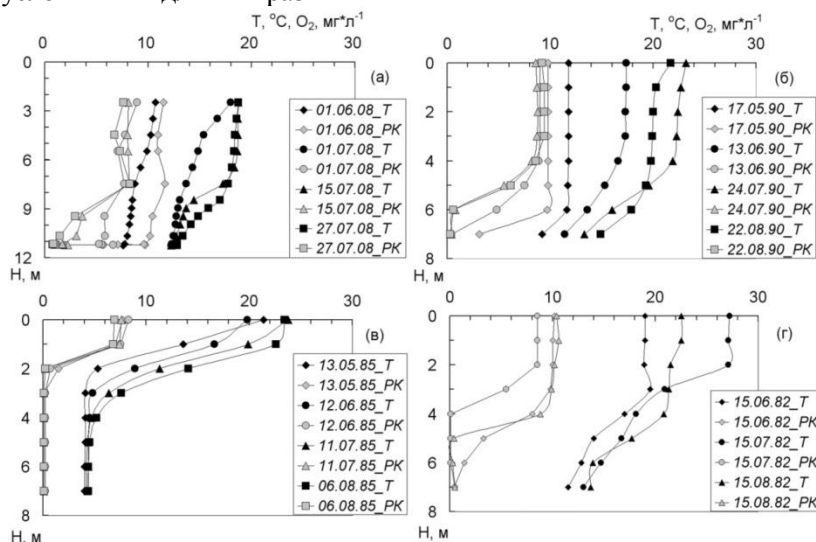


Рисунок 1. – Вертикальное распределение температуры воды и концентрации растворенного кислорода в озерах с различной прозрачностью в период летней стратификации. а – оз. Вендюрское, прозрачность 3 м; б – оз. Алеевское, прозрачность 3 м; в – Траут Бог, прозрачность 1 м; г – оз. Кезар, прозрачность 1 м. Данные для случаев (б-г) взяты с http://lter.limnology.wisc.edu/lter_lake.html.

Рассмотрим случай, при котором мелководное озеро бореальной зоны может из

«благополучного» превратиться в источник парниковых газов. В качестве примера

используем данные многолетних наблюдений на типичном карельском мезотрофном озере Вендюрское (средняя глубина 5.5 м, «историческая» глубина диска Секки 3 ± 0.5 м). В отличие от озер средних широт, время перехода бореального озера из подледного состояния в ранне-летнее (температура воды $T > 4^\circ\text{C}$) занимает короткое время (в зависимости от облачности, от 2-3 недель до 3-5 суток). Весеннее развитие фитопланктона начинается еще в подледный период и продолжается до начала лета. Это означает, что детрит присутствует в поверхностном слое озера постоянно до формирования устойчивой стратификации. Данные наших наблюдений за вертикальным профилем фотосинтетически активной радиации в столбе воды от поверхности до дна (регистрация на 10 горизонтах каждую минуту в течение нескольких часов) позволили оценить коэффициенты ослабления путем решения обратной задачи из известного экспоненциального

$I_z = I_0 e^{-\lambda z}$, где I_z – радиация на глубине z ; I_0 – радиация, входящая в воду (или в нижележащий слой; λ – коэффициент ослабления).

Измерения и оценки показали, что коэффициент ослабления в верхних 1-2 м может быть настолько высок, что поглотит до 90% входящей радиации (глубина диска Секки от одного метра и менее). Это означает, что градиент температуры будет иметь порядок величины $10^\circ\text{C} \cdot \text{м}^{-1}$. Даже при 1-2-дневном прогреве этого будет достаточно, что «запереть» нижележащую часть столба воды и исключить его перемешивание до дна.

На рис. 2 показан сезонный ход температуры воды (а) и растворенного кислорода (б) в оз. Вендюрском в 2010 г., когда аномальная волна тепла накрыла Европейскую часть России в начале июля. Хорошо перемешанное до конца июня озеро быстро стратифицировалось, и это состояние продлилось до конца августа, когда началось осеннее охлаждение.

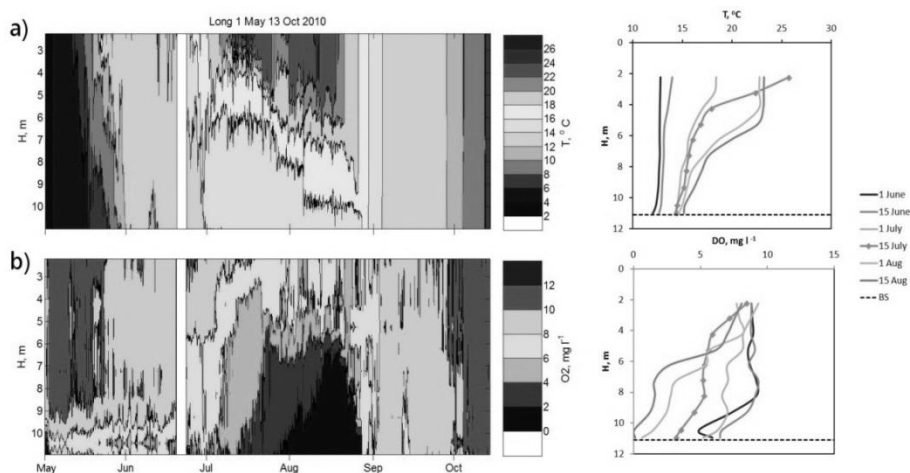


Рисунок 2. – Сезонный ход температуры воды (а) и растворенного кислорода (б) в оз. Вендюрском в период открытой воды в 2010 г. На правой панели показаны вертикальные профили температуры воды (верх) и растворенного кислорода (низ) в различные моменты сезона

Уже к концу первой декады июля содержание растворенного кислорода в придонной части озера упало ниже $4 \text{ мг} \cdot \text{л}^{-1}$, а впоследствии и до нуля. Этот пример свидетельствует о том, как быстро может мелководное озеро отреагировать на «запирающую» стратификацию.